

# 大量程反射式气动量仪的误差分析

合肥工业大学检测技术研究所(230009) 丁兴号 邓善熙 赵前程

**摘 要:**研制了一种基于反射式气动传感器的大量程气动量仪,介绍了仪器的工作原理,并分析了影响仪器测量精度的主要误差因素。

**关键词:**气动量仪, 反射式气动传感器, 误差分析

## Error Analysis of Reflection-type Pneumatic Measuring Instrument with Large Measurement Range

Ding Xinghao et al

**Abstract:** Based on the reflection-type pneumatic sensor, a pneumatic measuring instrument with large measurement range is developed. The working principle of the instrument is introduced, and the main error factors influencing the measuring accuracy of the instrument are analyzed.

**Key words:** pneumatic measuring instrument, reflection-type pneumatic sensor, error analysis

### 1 引言

气动测量是一种非接触式测量方法,它以压缩空气作为介质,利用空气在管道中的流量或压力随喷嘴与被测工件表面间的间隙不同而改变的特性,将尺寸量或位移量转换为流量或压力的变化量,从而实现对工件尺寸或位移的测量。与其它非接触测量方法相比,气动测量具有自洁功能,测量结果不受工件表面材质或清洁状况的影响,较适合在环境较恶劣的生产现场使用,且具有结构简单、操作方便、价格低廉等优点,因此广泛应用于机械制造业及其它行业。但是,传统的背压式气动量仪量程较小(一般为0.1~0.2mm),使其应用范围受到极大限制。为解决这一问题,我们研制了一种基于反射式气动传感器的大量程气动量仪,其测量范围可达5mm,测量精度为0.25mm(根据误差分析结果进行误差补偿后,测量精度可达0.05mm),从而为拓展气动量仪的应用范围提供了新的途径。

在反射式气动传感器的研制中,我们将传统的气动测量头与压阻式压力传感器相结合,组合成新型气动测量传感器,实现了气动测量的自动化和智能化。

### 2 反射式气动传感器工作原理

反射式气动量仪的系统原理框图见图1(图中粗线部分表示气体流向)。

反射式气动传感器的工作原理如图2所示。由

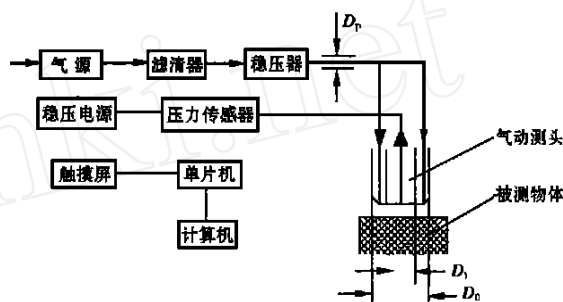


图1 反射式气动量仪系统原理框图

气源提供的压缩空气经滤清、稳压后其气体压力为 $P_s$ ,气流经过直径为 $D_p$ 的主喷嘴进入主气室,经过外径为 $D_0$ 、内径为 $D_i$ 的环形气隙向外喷射。当气动传感器前方有物体进入测量范围时,反射进入测量气室的气体压力随着传感器与物体距离 $s$ 的减小而增大。通过理论推导和近似简化,可得该气动传感器的测量特性方程为

$$\frac{P_0}{P_s} = \frac{(1 - D_i^2/D_0^2)}{2 \left[ \frac{s}{D_0} - \frac{(1 - D_i^2/D_0^2)}{4 C_2} \right]^2} \ln C_2$$

气动传感器测量特性的理论曲线如图3所示。

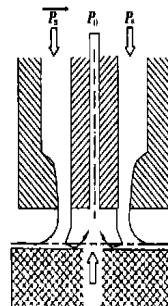


图2 反射式气动传感器工作原理

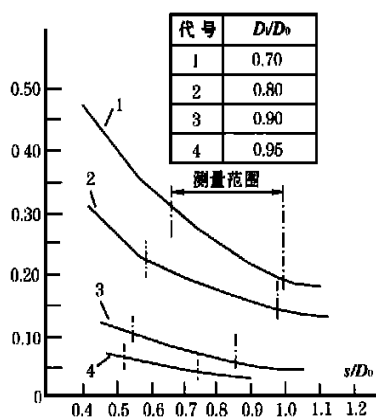


图3 气动传感器测量特性曲线

### 3 测量特性试验结果

对研制的反射式气动传感器进行了测量特性试验。试验中,通过分别改变反射式气动传感器的结构参数( $D_0$ ,  $D_i$ )和气动参数( $P_s$ ),确定其测量特性曲线(即输出电压  $U$  与测量距离  $s$  的关系曲线)。图4所示为从大量试验数据中提取两组具有代表性的试验数据作出的测量特性曲线。由图可知,该反射式气动传感器的实际测量特性与理论分析结果基本吻合。

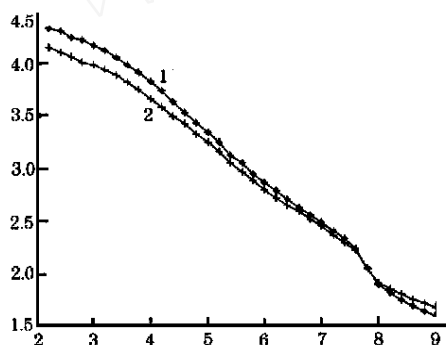


图4 反射式气动传感器测量特性试验曲线

### 4 误差分析

气动量仪的测量误差主要来源于气动传感器静态特性曲线的非线性、气源、气路及气动变换部分的波动性等因素。为了改进测量系统工作性能、提高仪器测量精度,必须对各项误差来源进行分析计算,以便为误差补偿提供依据。

#### (1) 最大非线性误差 $\delta_1$

由于气动测量特性曲线的非线性特征,在对测量系统的测量特性曲线进行线性处理时不可避免地会产生非线性误差,该误差的大小与选取的线性范围密切相关。如图3中的曲线1,若选取线性范围

为5mm,则最大非线性误差  $\delta_1 = 0.1850\text{mm}$ ;若选取线性范围为4mm,则最大非线性误差  $\delta_1 = 0.1756\text{mm}$ ;若选取线性范围为3mm,则最大非线性误差  $\delta_1 = 0.1684\text{mm}$ 。可见,选取的线性范围越小,最大非线性误差也越小。非线性误差是一种系统误差,在高精度测量中,可通过用分段折线拟合直线的软件编程方法进行误差补偿,对该项误差予以消减。

#### (2) 重复性误差 $\delta_2$

由于气压、电压波动、环境温度变化、震动等偶然因素的影响,气动传感器会产生随机误差。此外,接收管中的空气涡旋和湍流可使压力场不稳定,也会引起压力测量的随机误差。随机误差的大小可用重复测量同一尺寸时的重复性误差来表示。用气动传感器对同一被测量进行35次重复测量,可得到35个数据  $U_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 35$ ),然后根据以下贝塞尔公式计算重复性误差:

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中  $\bar{X}$  为  $U_i$  的平均值,  $n = 35$ 。计算结果表明,该反射式气动传感器的重复性误差  $\delta_2 = 0.0128\text{mm}$ 。

#### (3) 标定误差 $\delta_3$

气动测量是一种比较测量,即测量前需用标准件标定气动测量系统的零位和实际灵敏度,测量工件时,测量系统只反映被测工件相对标准件的尺寸(位移)偏差量。因此,标准件的精度将直接影响系统测量精度。标定误差取决于标准件及标定方法的极限误差。当选用高精度标准件(如尺寸精度  $\pm 1\mu\text{m}$  的标准量块)时,此项误差可忽略不计。

#### (4) 测量温度误差 $\delta_4$

气动测量系统中对温度影响最为敏感的部件是压阻式压力变送器。由于我们采用的MPM420型可编程压阻式压力变送器本身带有温度补偿电路,具有较高工作精度,因此对于该气动量仪,测量温度误差的影响可忽略不计。

#### (5) 气源压力波动引起的误差 $\delta_5$

气源压力波动将导致稳压器的输入压力发生变化,从而引起稳压器输出压力的变化;稳压器输出压力的波动必然导致反射进入接收管中的气压发生波动,从而产生位移误差。此项误差可用稳压器的稳定性来评价,即在一段时间内保持稳压器输入恒定,将其输出调到一定值,然后对实际输出的变化值进行采样,并将其等效为位移误差  $\delta_5$ 。

#### (6) 电气误差 $\delta_6$

# 杠杆表主体内腔平面度检测装置

哈尔滨量具刀具厂(150040) 武 英 赵 杰

杠杆表是我厂生产的畅销产品。为进一步扩大产量、降低成本,我们将杠杆表主体制造工艺由原机加工工艺改为粉末冶金工艺,采用 MM 一次成型技术制造主体。杠杆表主体零件图见图 1。由于制件在烧结过程中可能发生变形,故需对主体内腔底面平面 A 的平面度误差进行检测。在试制阶段主要采用三坐标测量机进行检测,但由于三坐标测量机运行费用较高、检测效率较低,加之难以在生产现场使用,因此这种检测方法不适合批量生产的验收。为此,我们设计制造了杠杆表主体内腔底面平面度专用测量装置。

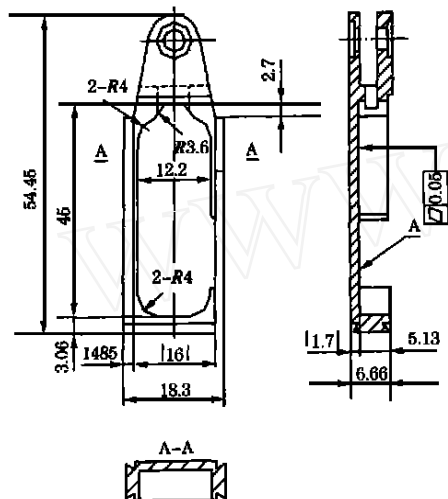


图 1

## 1 结构特点

该平面度检测装置由基准块和测量表两部分组成。基准块的形状尺寸见图 2,其俯视图形状与主体内腔相同,能方便放入主体内腔;其底面上有三个

凸台,上表面与三个凸台形成的表面保持平行(平面度误差 0.005mm);基准块上表面有三排  $\phi 3$ mm 通孔。

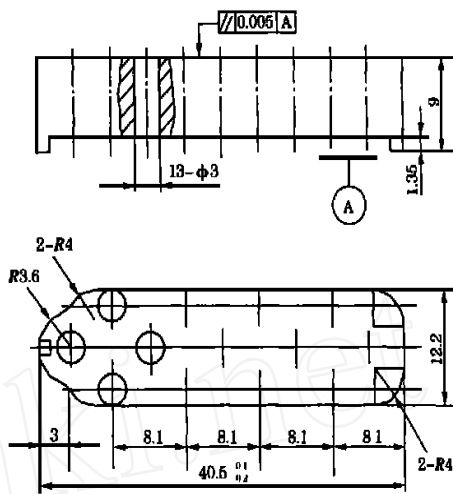


图 2

测量表组件见图 3。它由  $\phi 42$ mm 小百分表(行程 0~3mm)、专用测头和定位块组成。专用测头位于量杆前端,用 M2.5 螺纹连接;定位块套在百分表套筒上,用顶丝螺钉通过夹紧块夹紧。

## 2 测量方法

测量方法见图 4。测量前,首先将基准块置于平板上,将测量表专用测头插入基准块上表面的孔中,使定位块底面与基准块上表面可靠接触;调整定位块与百分表套筒的相对位置,使测头与平板接触时表杆位于全行程的中间位置;拧紧螺钉,将定位块紧固在百分表套筒上(以后不再调整相对位置);最后将百分表调零位。

测量系统的电气部分包括电源、压力变送器、信号调理电路、数据采集卡等,它们引起的误差统称为电气误差。电气部分总误差的大小可通过电路稳定性试验得出,即将压力变送器置于 1 个标准大气压的环境中,连续 4 小时对该通道的电压进行等间隔采样,采样时间序列的标准差即为电气部分总误差  $\sigma_e$ 。

## 5 结语

通过误差分析可知,在影响反射式气动量仪测

量精度的诸多误差因素中,非线性误差和重复性误差对测量精度影响较大;在量程较大(或采用高质量元器件)的情况下,其它多项误差基本可忽略不计。根据误差分析结果,可采取具有针对性的误差补偿措施(如软件补偿等)。通过误差补偿,可使反射式气动量仪在 5mm 量程下的测量精度达到 0.05mm,可满足机械制造及其它行业的测量要求。

编辑:张 宪